INYECTOR DE FERTILIZANTE TIPO VENTURI: CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN

M.R. Vargas[1], Rene Chipana [2] y E. Huayta C.[3]

Resumen

En el presente trabajo se presenta el diseño, construcción y evaluación de inyectores de fertilizante tipo Venturi de ¾ de pulgada. La construcción artesanal de los inyectores de fertilizantes tipo Venturi es viable técnicamente y presenta costos relativamente bajos. Algunos investigadores señalan que el diseño de inyectores tipo Venturi esta definido con un ángulo convergente (αc) de 21º y el divergente (αd) de 5º y 7º en su diseño clásico, no obstante, otros señalan que se encuentran mejores rendimientos en el uso de energía, al succionar un segundo fluido con un αc de 7.5 º vs. αd de 5º y 7º. Por ello se propuso para los prototipos del presente trabajo, ángulos con las siguientes características: αc de 21º, 7.5º y 4.54º; αd de 5º, 7º y 11.6º. Los parámetros de desempeño analizados fueron: el rendimiento y caudal de succión, con presiones de entrada y salida variando entre 7, 14, 21, 28, 32.6, 36.7 y 41 m.c.a. en la alimentación y 3.5, 7, 10.5, 14, 17.5, 21 y 24 m.c.a. en la salida, dejando el resto de las variables dependientes a esta condición.

Se encontró rendimientos más altos para el prototipo cuatro con un ángulo convergente de 7.5º y el divergente de 5º, cuyo rendimiento fue de 9.19% y un caudal de succión de 60.78 l/h, sobre la presión de alimentación de 28 m.c.a. y presión de salida de 10.5 m.c.a. y un caudal de alimentación de 9.09 l/minuto. El máximo caudal de succión se lo encontró para el prototipo dos de 96.37 l/h, seguido del prototipo uno con 92.24 l/h.

También fueron evaluadas las relaciones entre el caudal de succión, rendimiento de los prototipos versus diferencial de presión. Se encontró qué cuando se mantiene constante una presión de succión en 0.5 m.c.a. con presiones de alimentación, de 5, 10, 15, 20, 25, 32.6 y 41 m.c.a., para cada prototipo, se observó mejor rendimiento en el prototipo cuatro (6.68%), con una capacidad de succión de 36.99 l/h, a presión de alimentación de 25 m.c.a. y presión de salida de 11.05 m.c.a.. El máximo caudal de succión fue hallado para el prototipo 5 (56.40 l/h), con un rendimiento de 1.89%, a presión de alimentación de 15 m.c.a. y una presión jusante de 3.72 m.c.a..

El prototipo cuatro presentó menores pérdidas de carga y mayores rendimientos a diferentes diferenciales de presión, el mismo en su diseño presenta el ángulo convergente de 7.5º y ángulo divergente de 5º.

Palabras Clave: Diseño, Fertirrigación, desempeño.

[1] Ing. Agrónomo. Facultad de Agronomía. La Paz Bolivia. macbeint@yahoo.es

[2] Dr. Riego y Drenaje. Docente Titular. Facultad de agronomía. UMSA. La Paz, Bolivia. renechipana@yahoo.com

[3] Docente Titular UMSA. La Paz Bolivia

Fertilizer Inyector Type Venturi: Construction and Evaluation

Summary

In this work is presented a design, construction and evaluation of injectors fertilizer type Venturi of ¾ inch. The handmade construction is viable technically and it presents low costs. Some investigators say the design for the injector Venturi, is defined one with a 21º αc (convergent angle) and 5º and 7º αd (divergent angle), in its classic design, however, others say that the better yields in the energy use, when carrying out the suction of a second fluid with 7.5 º αc vs. 5º and 7º αd. That's why we proposition for the prototypes of the present work with following characteristic: 21º, 7.5º and 4.54ºαc; 5º, 7º and 11.6º αd. The performance parameters analyzed were following: yield, suction flow refers, when the in and out pressures fluctuate respectively in 7, 14, 21, 28, 32.6, 36.7 and 41 m.c.a. in the supply and 3.5, 7, 10.5, 14, 17.5, 21 and 24 m.c.a. for the output pressure, leaving the rest of the dependent variables has this condition.

The biggest yields meet them the fourth prototype with a 7.5º convergent angle and 5º divergent angle whose yield is of 9.19% and a flow of suction of 60.78 l/h, over the 28 m.c.a. supply pressure, 10.5 m.c.a. output pressure and a 9.09 l/minute supply flow. The maxim suction was 96.37 l/h for the second prototype, followed by 92.24 l/h for the first prototype. The relationships were also evaluated between the suction flow, yield of the prototypes versus differential of pressure, when it stays suction constant pressure in 0.5 m.c.a. with 5, 10, 15, 20, 25, 32.6 and 41 m.c.a. supplies pressures, for each prototype. In which evaluation was the 6.68% best yield for the fourth prototype, with a 36.99 l/h suction capacity, to 25 m.c.a. supply pressure and 11.05 m.c.a. output pressure. The maxim suction flow was found in 56.40 l/h for the fifth prototype, with a 1.89% yield, to 15 m.c.a. supply pressure and a 3.72 m.c.a. jusante pressure.

The fourth prototype presented smaller load losses and bigger yields to different pressure's differentials, the same one in their design presents 7.5º convergent angle and 5º divergent angle.

Keywords: Design, fertigation, yiel, performance.

Introducción

La agricultura intensiva e incluso la extensiva se esta polarizando hacia condiciones de cultivo cada vez más controladas con el fin de incrementar los rendimientos, debido a que la población mundial esta en crecimiento constante, principalmente en los países en desarrollo. En los últimos años se ha comprobado que la aplicación más importante del riego localizado se centra en su utilización como vehículo del denominado proceso de fertirrigación, que es nada más que la dosificación racional de fertilizantes en forma periódica, en función del proceso fotosintético la calidad del sustrato y del agua de riego para determinadas condiciones ambientales. Por otra parte, la dosificación de fertilizantes distribuida durante todos los días del ciclo del cultivo permite hacer frente a los posibles problemas de contaminación, que puedan originarse por un exceso transitorio de fertilizantes en el suelo o sustrato. Así, la fertirrigación es el método más racional para realizar una fertilización optima y respetando el medioambiente dentro de la denominada

agricultura sostenible (Cadahía, 2001). Los métodos más usuales para la aplicación de fertilizantes son los siguientes: mediante bomba de inyección, accionada eléctrica e hidráulicamente, a través de el inyector tipo Venturi y mediante el tanque de fertilizantes. La precisión en la dosificación sigue el orden anterior, no obstante, el costo del primero es un impedimento para su adquisición, siendo el inyector tipo Venturi el más recomendado en su precisión y accesibilidad El mismo se define, como un dispositivo con una sección convergente, seguida de una garganta y de una sección divergente, que gradualmente vuelve al diámetro inicial (Mataix, 2001).

El uso de los inyectores tenía diferentes aplicaciones como ser: medición de flujos, la inyección de carburantes, oxigenador de peceras. Los mismos que pueden construirse de diversos materiales como: acero, bronce, aluminio, hierro, PVC y resina plástica reforzada con fibra de vidrio (para fertirrigación), entre otros. La mezcla de una matriz plástica con fibra de vidrio, ofrece un material estructural ligero y presenta numerosas ventajas en la construcción de piezas en gran y pequeña escala, ofreciendo resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, luz, transporte, manejo e instalación (Delmée, 1983).

En la actualidad en Bolivia agricultores y empresarios están produciendo flores y hortalizas en ambientes protegidos con riego por goteo, siendo que muchos aún no aplican nutrientes mediante el agua de riego, ello se debe al desconocimiento de la técnica de fertirrigación, así como al elevado costo de los equipos, puesto que se tiene que importar. También cabe indicar que la escasa investigación generada en Bolivia acerca de accesorios, equipos y sistemas de riego, hace que la actividad agrícola bajo riego sea muy dependiente del mercado exterior. Estos aspectos motivaron el diseño, construcción y evaluación de inyectores de fertilizantes tipo venturi.

Objetivos

Diseñar, construir y evaluar el desempeño de inyectores de fertilizante tipo Venturi.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de los ángulos convergentes y divergentes del inyector de fertilizante tipo Venturi en la variable de rendimiento y el caudal de succión.
- Evaluar la interacción entre los ángulos convergentes y divergentes en la variable de rendimiento y el caudal de succión.

Materiales y Métodos

Diseño prototipos de Inyectores Tipo Venturi

El diseño de los inyectores tipo Venturi se efectuó considerando que sería necesario un diferencial de presión mínimo de 40 m.c.a., y de un caudal de alimentación de 1100 l/h, de esta manera se adoptaron las siguientes relaciones:

$$Q = Cd \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \qquad (1)$$

donde:

Q = Caudal (m^3/s);

Cd = Coeficiente de descarga (se asumió un valor de 0,98):

A = Sección (m^2);

g = Aceleración de la gravedad (9,81 m/s^2);

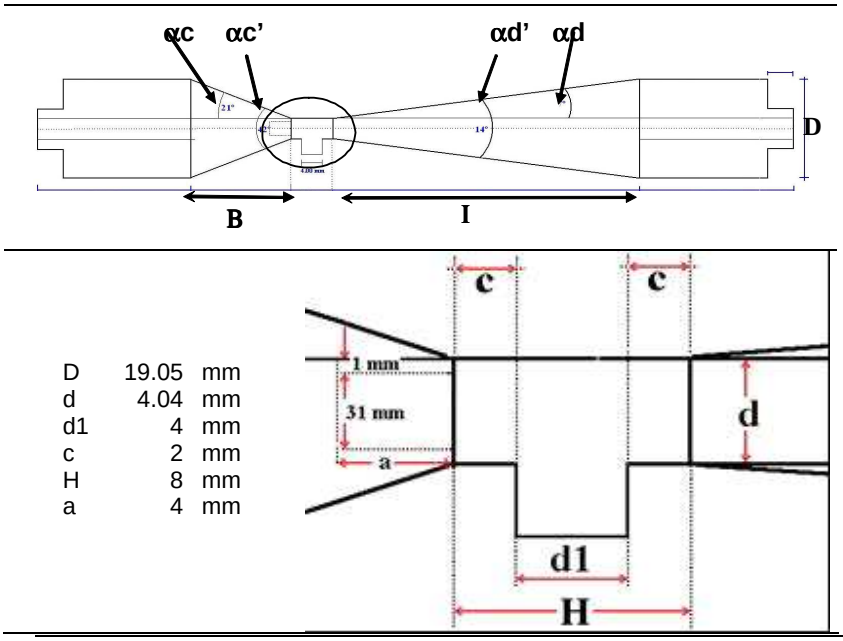
h = Carga hidráulica (m).

Reemplazando en la ecuación (01) la relación de la sección ($A = \pi \cdot d^2/4$) y despejando el diámetro "d" se obtiene un valor del diámetro de la garganta igual a 4,06 mm. Algunos autores señalan que el diseño para el inyector tipo Venturi está definido con un ángulo convergente (αc) de 21º y el divergente (αd) 5º y 7º , empresas como Mazzei, Vicamp y otros ya comercializan al mercado los Inyectores de fertilizante con este diseño (VICAMP, 2002), sin embargo investigadores como Zárate (1995) señalan que se encuentran altos rendimientos en el uso de energía (menores pérdidas de carga), al realizar la succión de un segundo fluido con un αc de 7,5 º vs. αd de 5º y 7º. Por ello, en el presente trabajo se estudiaron varios ángulos convergentes y divergentes, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los nueve prototipos; αc ángulo convergente; αd ángulo divergente.

Prototipo	Factor A	αc	Factor B	αd
1			b1	5°
2	a1	21º	b2	7°
3			b3	11.6°
4			b1	5°
5	a2	7.5°	b2	7°
6			b3	11.6°
7		4.54	b1	5°
8	a3	°	b2	7°
9			b3	11.6°

Por otro lado, en la Figura 1 se muestra las características constructivas de los moldes para la fabricación de los prototipos de ¾ de pulgada utilizados en el ensayo.



Prototipos

	Unid.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
αc	grados	21	7.5	4.54	21	7.5	4.54	21	7.5	4.54
αc'	grados	42	15	9.08	42	15	9.08	42	15	9.08
αd	grados	5	7	11.6	5	7	11.6	5	7	11.6
αd'	grados	10	14	23.2	10	14	23.2	10	14	23.2
B	Mm	29.6	52.7	94.8	29.6	52.7	94.8	29.6	52.7	94.8
I	Mm	80.0	61.3	36.7	80.0	61.3	36.7	80.0	61.3	36.7

Figura 1;Tabla 2. Características de los 9 prototipos utilizados en los ensayos. Donde: αc' es el ángulo convergente de todo el vocal (grados); αd' es el ángulo divergente de todo el vocal (grados).

Desarrollo de los inyectores

Matrices Internas: Se realizó el torneado de las matrices para cada prototipo, sobre material de hierro dulce de acuerdo a las dimensiones establecidas según la Tabla 1 y Figura 1.

Réplica de los prototipos: Primero, se adaptaron las matrices internas a pequeños tubos de PVC de 8 cm de longitud, luego se cubrió a la matriz con una capa de alcohol desmoldante, cuya función es no permitir el pegado a la matriz. Segundo, se cortó fibra de vidrio a las dimensiones del prototipo. Tercero, Se realizó la preparación de la resina con 0,5 % del acelerador poliéster cobalto, luego se agregó 2% del Catalizador Butanox, se continuó mezclando hasta conseguir su homogenización, posteriormente se cubrió la fibra de vidrio con dicha mezcla para dar forma al nuevo prototipo a través de la matriz interna, dentro de una hora la mezcla polimerizó el prototipo, posteriormente se procedió con la extracción de las matrices (Figuras 2 y 3).

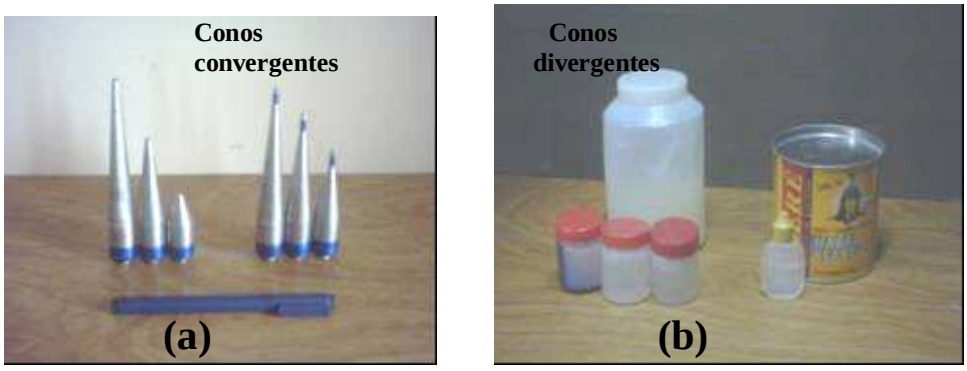


Fig. 2. Materiales usados en la construcción de los Inyectores tipo Venturi: Moldes de hierro dulce (a), Resina, Masa plástica y sus reactivos (b).

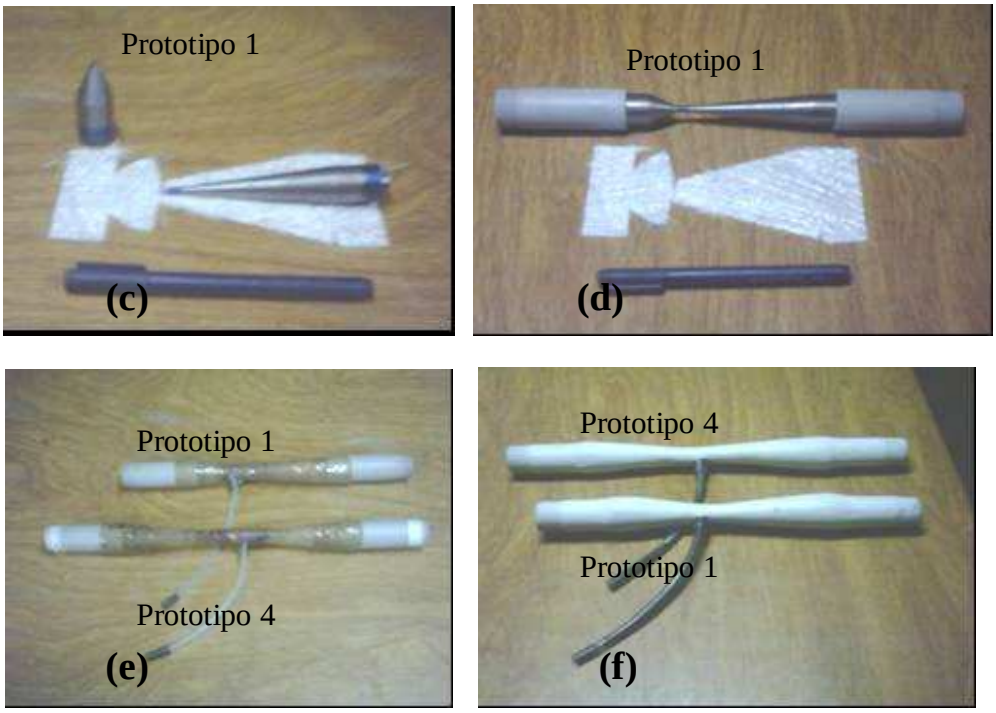


Fig. 3. Manta de fibra de vidrio (c), Matriz interna ensamblada (d), Venturi pre-finalizado (e), Venturi finalizado (f).

Parámetros de desempeño y Evaluación

a) Se evaluó el desempeño de los nueve prototipos tomando en cuenta los parámetros de rendimiento y caudal de succión, empleando presiones de entrada y salida de 7, 14, 21, 28, 32,6, 40,8 m.c.a. (alimentación) y 3,5, 7, 10,5, 14, 17,5, 21, 24,5 m.c.a (salida). De esta manera se logró diferentes rangos en el diferencial de presión y se determinó los límites de succión en los prototipos.

b) También se evaluó las relaciones entre el caudal de succión, rendimiento de los prototipos versus diferencial de presión, cuando se mantenía constante una presión de

succión en 0,5 m.c.a. con presiones de alimentación de 5, 10, 15, 20, 25, 32,6 y 40,8 m.c.a. para cada prototipo.

Para el cálculo del rendimiento se utilizó la relación recomendada por Zárate (1995), debido al objeto de evaluación:

$$\eta\% = \frac{Q_2 p_3 - Q_2 p_2}{Q_1 p_1 - Q_1 p_3} \times 100\% \qquad (2)$$

Para la conducción del trabajo fue montado el sistema de evaluación en circuito cerrado, en función al esquema presentado en la Figura 4.

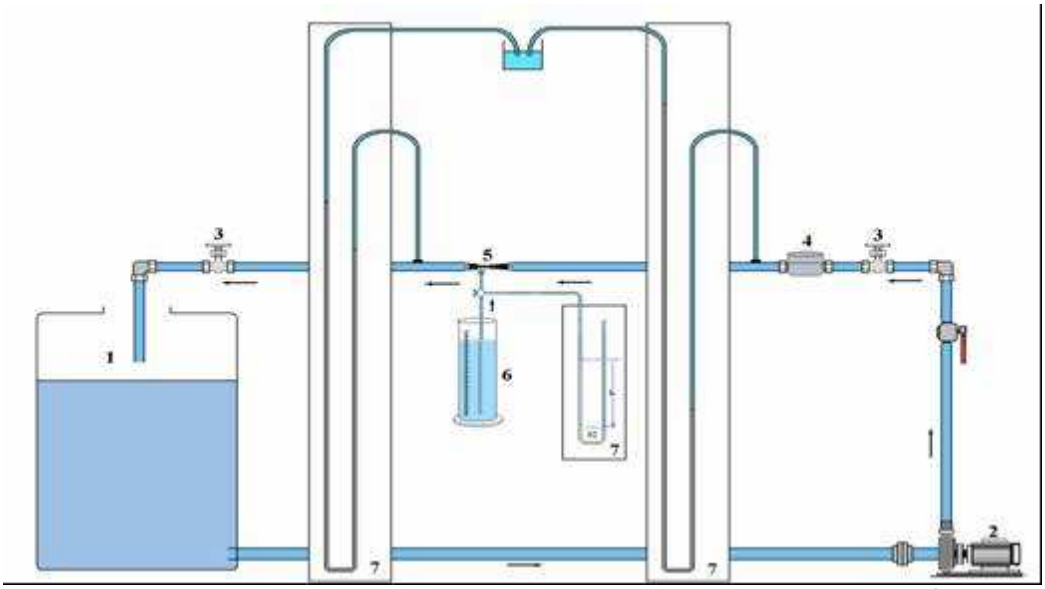


Fig. 4. Esquema del montaje general: 1. Reservorio de agua. 2. Motobomba. 3. Válvula. 4 Medidor de agua. 5. Inyector tipo Venturi. 6 Recipiente de agua. 7. Manómetro de columna de mercurio.

Resultados y Discusión

Coeficiente de descarga

Los coeficientes de descarga fueron determinados en función a la relación del caudal real y teórico, los valores de coeficiente de descarga para los nueve prototipos son mostrados en la tabla 5.

Tabla 2. Caudal (en L/h) y Coeficiente de descarga de los prototipos.

Prototipo	Ecuación					r²	Cd
1	hf =	8,507E-03	*	Q1^	1,4259	0,972	0,8733
2	hf =	2,622E-04	*	Q1^	2,0617	0,933	0,9254
3	hf =	1,705E-04	*	Q1^	2,0096	0,926	0,9235
4	hf =	1,675E-08	*	Q1^	3,3048	0,901	0,9545
5	hf =	6,804E-03	*	Q1^	1,4116	0,886	0,9914
6	hf =	1,690E-10	*	Q1^	4,3274	0,851	0,6550
7	hf =	4,030E-10	*	Q1^	3,9499	0,856	0,9978
8	hf =	3,977E-10	*	Q1^	4,0487	0,825	0,9714
9	hf =	1,464E-24	*	Q1^	9,3451	0,918	0,7661

Pérdida de carga

Para determinar la pérdida de carga de los nueve prototipos, fue utilizado simultáneamente el mismo sistema de evaluación. Los datos del caudal fueron calculados con el medidor de agua y el cronometraje del tiempo en forma simultánea (Figura 5).

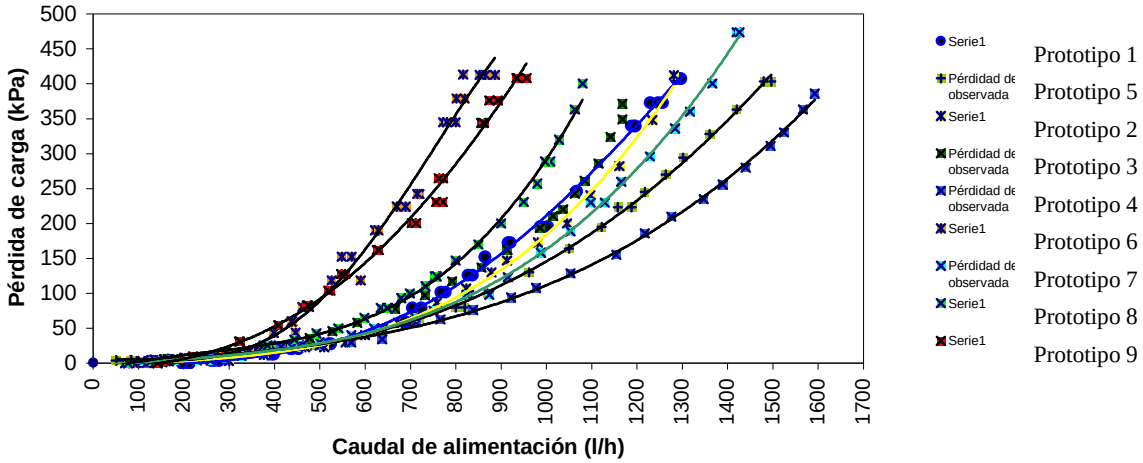


Fig. 5. Pérdida de carga observada, para los prototipos, en función al caudal de alimentación en ausencia de succión.

El análisis visual de la Figura 5, nos muestra que la pérdida de carga observada, para los prototipos cuatro, cinco y siete produce menores pérdidas de carga, contrariamente los prototipos seis, ocho y nueve ocasionan mayores pérdidas de carga. Valores intermedios presentan los prototipos uno, dos y tres. El Anexo 2 se presentan a los prototipos funcionando como Inyectores y Venturímetros, con el siguiente detalle: A. Curvas de coeficiente de descarga (Cd) en función al número de Reynolds (Re). B. Curvas de coeficiente de caudal (Cq) en función al número de Reynolds (Re). C. Curvas de coeficiente de descarga en función al caudal de alimentación. D. Comparación del caudal observado y caudal calculado.

Evaluación

Desempeño de los Prototipos a diferentes diferenciales de presión.

En las Figuras 6 y 7 se presenta el rendimiento de los nueve prototipos, con el ordenamiento del ángulo convergente (αc) y divergente (αd) respectivamente. El prototipo cuatro s el que dio mayor rendimiento (9,19 %).

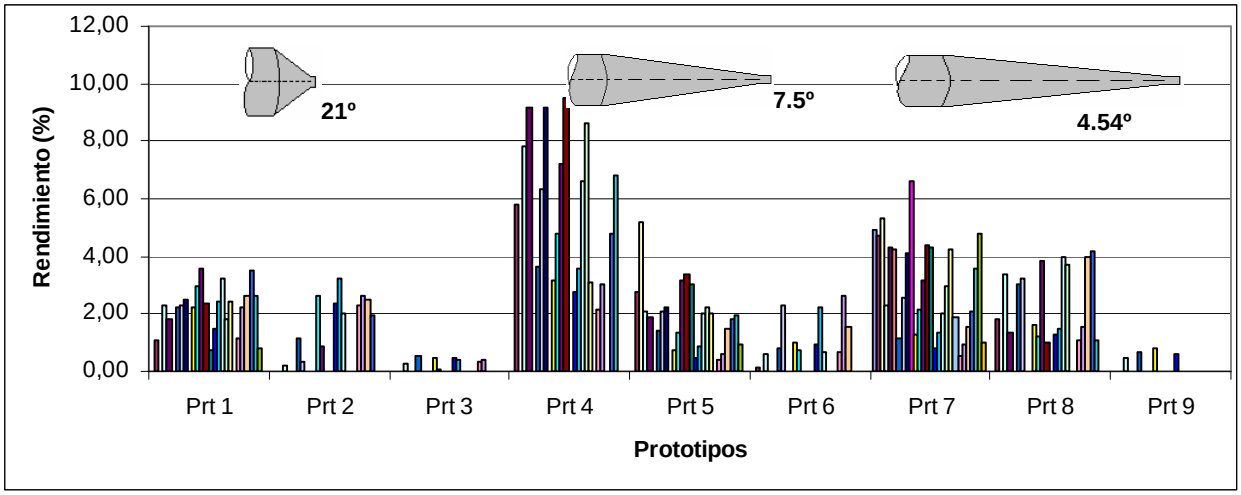


Fig. 6. Rendimiento de los prototipos en función al ángulo convergente a diferentes diferenciales de presión.

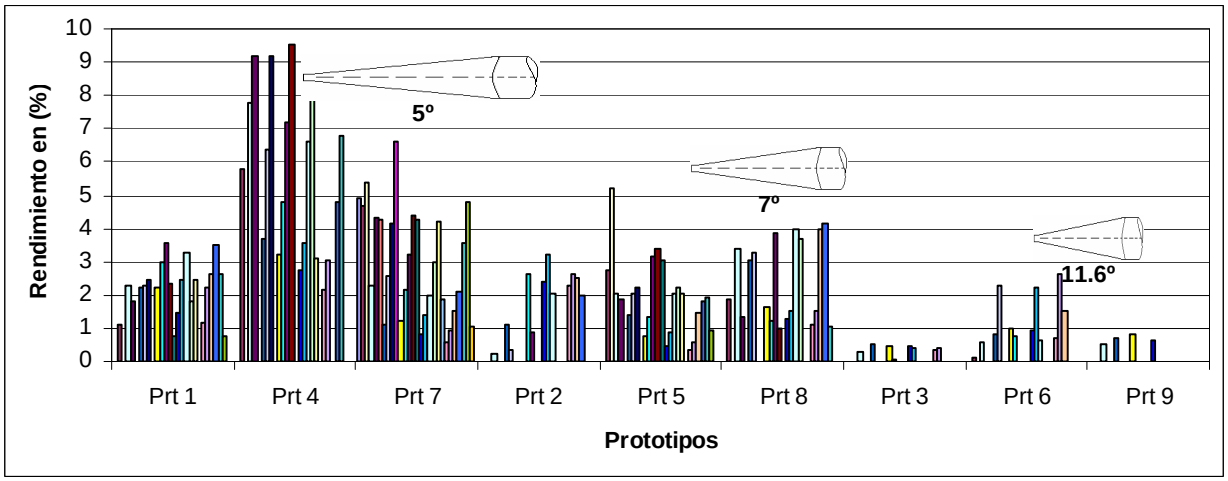


Fig. 7. Rendimiento de los prototipos en función al ángulo divergente a diferentes diferenciales de presión.

De acuerdo con las Figuras 6 y 7, y Tabla 3, los prototipos que poseen en su diseño el αc de 7,5º presentan los más altos rendimientos seguido del grupo de αc 4,54º y por último el grupo con αc de 21º. Si se efectúa el mismo análisis en la Figura 7 donde el ordenamiento de los prototipos está de acuerdo al cono difusor, se puede diferenciar claramente que aquellos prototipos que poseen en su diseño el αd de 5º presentan elevados rendimientos, seguido por el grupo que posee el αd de 7º y por último el grupo que posee el αd de 11,6º.

La pérdida de energía influye directamente en el rendimiento de los prototipos, si hacemos el análisis para el cono convergente, se encuentra elevados rendimiento para un αc intermedio de 7.5º, quien minimiza las pérdidas por fricción. Para el cono difusor el αd de 5º, minimiza la pérdida de energía por desprendimiento de capa límite y/o formación de remolinos.

Los rendimientos nulos que se muestran en la Tabla 3, son consecuencia de la pérdida de energía, la insuficiente energía para realizar la succión de un segundo fluido, llamaremos a ello *sensibilidad de succión de inyectores Tipo Venturi debido a la pérdida de energía, según la geometría*.

Resultados similares fueron obtenidos por Zarate (1995), quienes indican que los inyectores de fertilizantes tipo Venturi, en su diseño deben ser de αd 5º y de αc 7,5º para un adecuado caudal de succión y una mínima pérdida de energía.

Tabla 3. Rendimiento de los prototipos a diferentes presiones de entrada y salida.

Δf	Presión de fun.		Rendimiento η %								
(mca)	P1 (mca)	P3 (mca)	Prt 1	Prt 4	Prt 7	Prt 2	Prt 5	Prt 8	Prt 3	Prt 6	Prt 9
3,5		3,5			4,92						
10,5		3,5	1,09	5,79	4,70		2,74	1,852			
7	**14**	7,0			5,36		5,19			0,13	
17,5		3,5	2,27	7,80	2,27	0,21	2,07	3,3833	0,29	0,58	0,50
14	**21**	7,0	1,84	9,16	4,33		1,89	1,3358			
10,5		10,5			4,26						
24,5		3,5	2,24	3,67	1,13	1,13	1,41	3,016	0,53	0,81	0,68
21		7,0	2,27	6,35	2,57	0,34	2,07	3,269		2,31	
17,5	**28**	10,5	2,47	9,19	4,12		2,20				
14		14			6,62						
29,5		3,5	2,20	3,19	1,26		0,76	1,6177	0,44	0,98	0,81
26		7,0	2,98	4,81	2,17	2,64	1,37	1,246	0,05	0,75	
22,5	**33**	10,5	3,59	7,22	3,19	0,87	3,14	3,8352			
19		14	2,34	9,53	4,38		3,37	1,0144			
15,5		17,5	0,77		4,28		3,04				
33,5		3,5	1,45	2,74	0,80	2,37	0,49	1,2575	0,45	0,92	0,63
30		7,0	2,43	3,58	1,38	3,24	0,89	1,4943	0,42	2,25	
26,5		10,5	3,25	6,62	2,01	2,03	2,04	3,992		0,64	
23	**37**	14	1,80	8,61	2,97		2,25	3,7056			
19,5		17,5	2,43	3,08	4,24		2,05				
16		21,0			1,87						
37,5		3,5	1,15	2,18	0,56	2,27	0,37	1,0871	0,34	0,69	
34		7,0	2,25	3,05	0,94	2,61	0,60	1,533	0,39	2,62	
30,5		10,5	2,64		1,54	2,49	1,48	3,9573		1,52	
27	**41**	14	3,49	4,81	2,09	1,98	1,84	4,1487			
23,5		17,5	2,65	6,79	3,59		1,95	1,0686			
20		21,0	0,79		4,79		0,9426				
17		24,0			1,03						

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos y las consideraciones bajo las cuales fueron realizadas las pruebas de laboratorio, se llegó a las siguientes conclusiones:

- La construcción artesanal de los prototipos es técnicamente viable y presenta costos bajos.
- Cuando el diferencial de presión se incrementa, el caudal de succión también lo hace.
- El rendimiento se incrementa proporcionalmente hasta un determinado punto para luego descender, en dicho punto se halla el máximo rendimiento a menor pérdida de energía.

- La combinación de ángulo convergente y divergente 7,5º y 5º, respectivamente es la mejor opción.

Referencias Bibliográficas

Cadahia, LC, 2001. *Fertirrigación en cultivos Hortícolas y Ornamentales*. Edit. Mundi Prensa 2da. Edición Madrid – ES, 475 p.

Delmee, GL, 1983. *Manual de Medición de Caudal*. 2da edición Sau Paulo – BR, 476 p.

Mataix, C, 2001. *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Edit. HARLA S.A. 2da. Edición México – ME, 660 p.

VICAMP, 2002. *Inyector de Fertilizantes VICAMP* n .9 1 – 2 P. Manual de Instalación y operación

Zarate, RN, 1995. *Desenvolvimento e Avaliaçao de dos Inyectores de Fertilizantes tipo Venturi*. Piricicaba, Sao Paulo – BR. Mestrado em Agronomía Área de concentraçao Irrigaçao e Drenagem da Escuela Superior Luiz Queiroz USP 67 p.